



Leitfaden

Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände nach Eurocode 2

1. Inhaltsverzeichnis

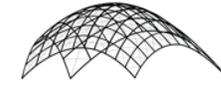
1. Inhaltsverzeichnis
2. Das Klimaproblem
3. CO₂ – Hardfacts
4. Zulässige + vorhandene Emissionen
5. Einfluss von Bauteilen auf die Emission
6. Beton ist kein Klimakiller
7. Konsequenzen des Bauschaffens
8. Abbild einer unbewehrten- und bewehrten Betonwand
9. Historische Entwicklung
10. Anwendungsfälle unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
11. Nachweisführung von unbewehrten Beton- und Leichtbetonwänden nach DIN 1992-1-1
12. Mindestwandstärken
13. Gebrauchstauglichkeit
14. Konstruktionsregeln
15. Schall- und Brandschutz
16. Risseverhalten von Beton- und Leichtbetonwänden
17. Beispiele zur Tragfähigkeit
18. Beispiele zum CO₂- und Kostenvergleich verschiedener Wandtypen
19. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung
20. Bewehrungs- und CO₂- Gehalte in Stahlbetonwänden- und Stützen
21. Kosten- und Arbeitszeiteinsparung von unbewehrten Betonwänden- und Stützen
22. Vorhandene Betonwandflächen Geschosswohnungsbau für Stahlbetoninnen- und Außenwände
23. Ausführungsbeispiele
24. Bewehrung Türrahmen & Aussparungen
25. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
26. Ausblick: unbewehrte Hohlwände

2. Das Klimaproblem



unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände nach Eurocode 2

3. CO₂ - Hardfacts



- Problematisch ist überwiegend das CO₂, was zur Erderwärmung führt.
- CO₂ absorbiert einen Teil der von der Erde in das Weltall abgegebenen Wärme und strahlt diese auf die Erde wieder zurück. Zuviel CO₂ in der Atmosphäre führt dazu, daß sich die Erde unnatürlich stark aufwärmt. Dadurch kommt es zum Klimawandel.
- CO₂ ist geruchslos, ungiftig, farblos, hat eine Halbwertszeit ca. 800 Jahren und kommt weniger als 1% (0,04 %) in der Luft vor.
- Anteil der Treibhausgase an der Klimaerwärmung beteiligt: ca. 60% Wasserdampf, 22% CO₂, 7% Ozon O₃, 4% Stickstoff N₂, 2,5% Methan CH₄, 2,5% Sonstiges.
- Das Bauwesen ist für ca. 53% (27,5 Gto) am weltweiten CO₂-Ausstoß verantwortlich (ca. 50 Mrd. to anthropogener Emissionen/ Jahr).
- Baustoff Beton ist der meist verwendete Baustoff der Welt, mit einem schlechten Ruf (8% weltweit emittierten Treibhausgasen verantwortlich).
- 1m³ verbauter Stahlbeton emittiert ca. 300 kg Co₂ = entspricht CO₂-Aufnahme von ca. 4.000 Bäumen/ Tag.
- 1m³ verbauter unbewehrter Beton emittiert ca. 200 kg CO₂ = entspricht CO₂-Aufnahme von ca. 2.500 Bäumen/ Tag (Teil der Dekarbonisierung).
- Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände- und Stützen tragen aus Sicht der Nachhaltigkeit zu einem deutlich geringeren CO₂- Ausstoß und Ressourcenschonung bei, wenn auf den Einbau des Betonstahles verzichtet wird. Ca. 30 % wird an CO₂ eingespart, bei der Ausführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände.

4. Zulässige + vorhandene Emissionen

Zulässiger Verbrauch Gebäude (Phase A):

32 kg CO₂ / m³ BRI, (Quelle: Prof. Sobek)

Mehrfamilienhäuser (vorhandene Emissionen):

∅ **80** kg CO₂ / m³

Einfamilienhäuser (vorhandene Emissionen):

∅ **95** kg CO₂ / m³

4. Zulässige + vorhandene Emissionen

Zulässiger Verbrauch Gebäude gemäß DGNB (Phase A):

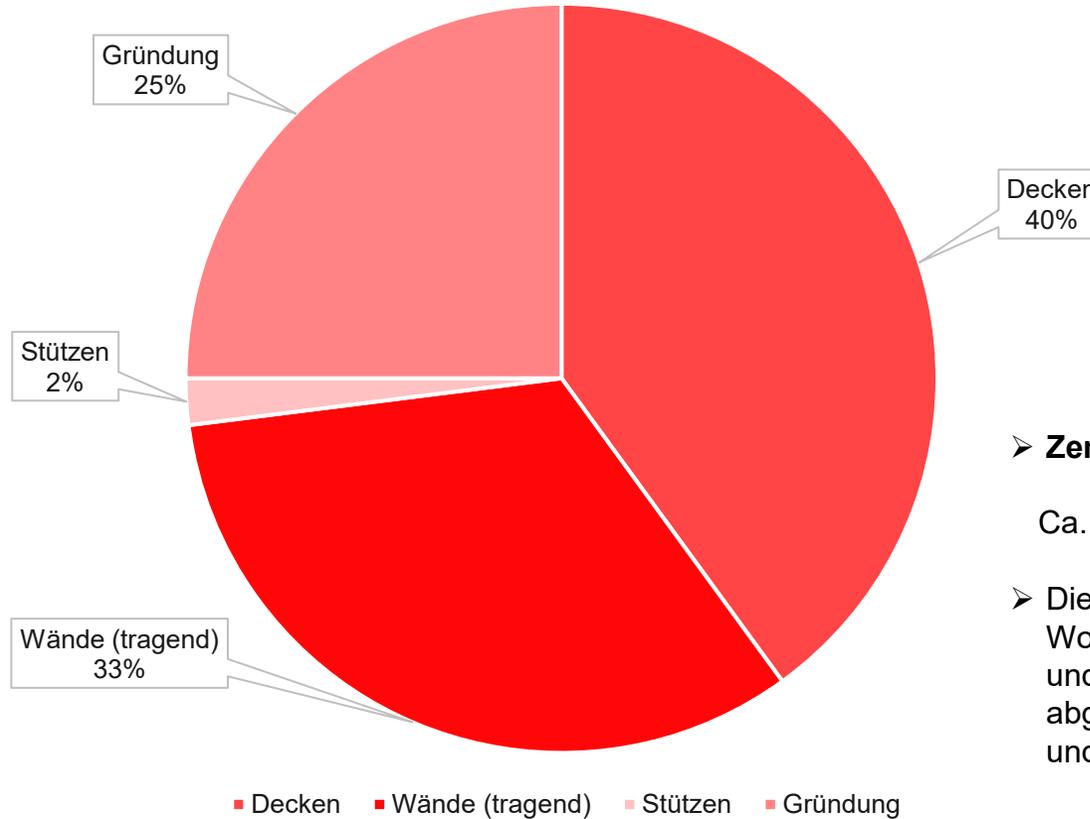
mind. **50%** von \emptyset , (Quelle: DGND)

50 geprüfte Häuser nach DGND-Standard

\emptyset **8,7** kg CO₂ / m² x a (NGF)

Das Gap von bis zur 3,5-fachen Überschreitung der zulässigen CO₂-Emissionen muss sofort reduziert werden!

5. Einfluss von Bauteilen auf die Emission



➤ **Zementverbrauch nach Baubereichen:**

Ca. 32% Wohnungsbau, ca. 33,5% Nichtwohnungsbau, ca. 34,5% Tiefbau

- Die Kenntnis, dass der Anteil an tragenden Innen- und Außenwänden in einem Wohngebäude ca. 30% aller Bauteile entspricht und der Zementverbrauch im Wohn- und Nichtwohnbau ca. 2/3 aller Baubereiche ausmacht (Brücken und Hallen müssen abgezogen werden), lässt das hohe Einsparungspotential der unbewehrten Beton- und Leichtbetonwände erahnen.

Übersicht konstruktionsbedingter Treibhausgasemissionen im Wohngebäude - Quelle: Mendler Ingenieur Consult

6. Beton ist kein Klimakiller

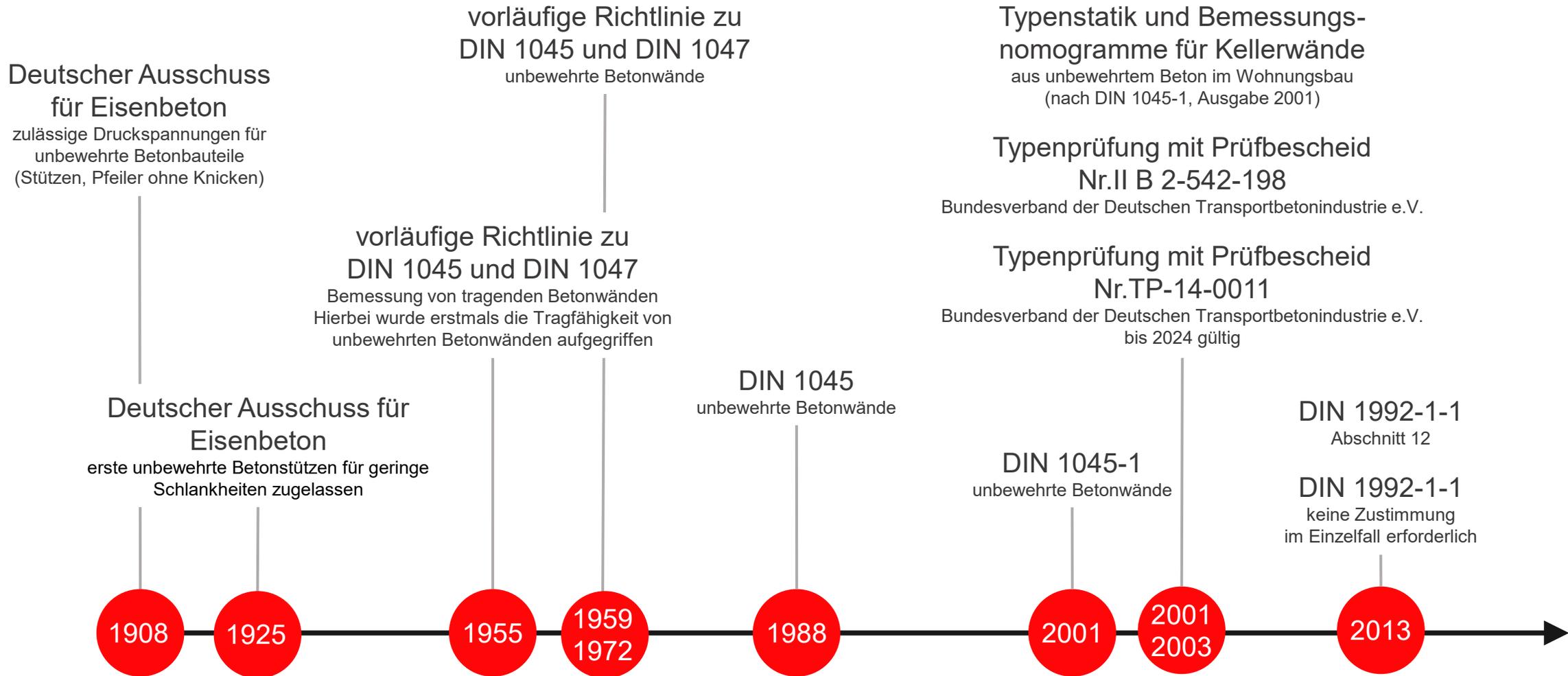
- Die Zementproduktion ist unterteilt in **30% Putze** und **70% Betone** in Deutschland.
- **ca. 45%** nimmt der Beton+Putz im Schnitt durch Karbonatisierung wieder an CO₂ auf (25%, 97%)
- CO₂-Senke von Weltklimarat **IPCC** 2021 anerkannt, aber nicht in EPD's z.B. Ökobaudat aufgelistet. Hier besteht enormer Nachholbedarf!
- Diese Resorptionswerte sind in der Fachwelt leider den wenigsten bekannt.
- Leichtbetone haben ein weit größeres Potential zur Karbonatisierung. Bei unbewehrten Leichtbetonwänden ist die hohe Karbonatisierungstiefe bis zum Gesamtquerschnitt erwünscht, um den CO₂-Fussabdruck merklich zu reduzieren.
- Beton ist zu **100% rezyklierbar**.
- Einsparung von ca. **30% CO₂** bei der Ausführung von unbewehrten Beton- und Leichtbetonwände.
- Unbewehrte Betonwände- und Stützen tragen aus Sicht der Nachhaltigkeit zu einem deutlich **geringeren CO₂- Ausstoß** und zur Ressourcenschonung bei, wenn auf den Einbau des Betonstahles verzichtet wird.

- Ressourcenproblem (Bauwesen zu ca.60% beteiligt)
- Treibhausgasproblem (Bauwesen zu ca.53% beteiligt)
- Abfallproblem (Bauwesen zu ca.50% beteiligt)
- Energieverteilungsproblem
(Umwandlungs- und Transportverluste, nur ca. 2/3 der erzeugten Primärenergie stehen als Endenergie zur Verfügung)
- **kein Energieproblem**
(Die Sonne scheint 10.000 x mehr als der weltweit tägliche Energiebedarf)

8. Unbewehrte & bewehrte Betonwand



9. Historische Entwicklung



9. Historische Entwicklung

- Ab 1950 wurden in größerem Umfang tragende Wände aus Beton- oder Stahlbeton im Wohnungsbau verwendet
- Seit fast 70 Jahren sind unbewehrte Betonwände in Deutschland anwendbar.
- Unbewehrte Betonwände sind in Frankreich standard.
- Prof. Klaus Stiglat (Platten nach Stiglat und Wippel) hatte 1972 Hochhäuser mit 14 Geschossen gebaut, deren aussteifende Kernwände unbewehrt waren.

- vorläufige Richtlinie zu DIN 1045 und DIN 1047, Ausgabe 1955, unbewehrte Betonwände
 - Mindest-Betondruckfestigkeit B120
 - Mindestdicke allgemein $d=15$ cm, max. Geschosshöhe 3,75 m
 - Reduzierte Mindestdicke $d=10$ cm, wenn Geschosshöhe max. 3,0 m und dreiseitig bis vierseitig gehaltene Wand
 - Zulässige Schlankheit von 25 (Knicklänge/ Wanddicke) musste eingehalten werden
 - Nachweis für ω -fache mittige Last mit zulässigen Druckspannungen (Abminderung der zulässigen. Last aus unbewehrten Normalbeton)
 - Bis zu 1,20 m lichte Weite bei Fensterstürzen keine Bewehrung erforderlich, wenn die Stürze zusammen mit der Wand betoniert und 40 cm Sturz vorhanden

- DIN 1045, Ausgabe 1988, 17.9, unbewehrte Betonwände dort geregelt
 - Max. Betondruckfestigkeit B35
 - Schlankheit bis $\lambda=70$ und über $\lambda=70$ (genauerer Nachweis + Kriechen) möglich
 - Betonzugspannungen dürfen nicht in Rechnung gestellt werden
 - Klaffende Fuge höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes

9. Historische Entwicklung

➤ DIN 1045-1, Ausgabe 2001, 8.6.7, 10.2.(2), 13.7.4, Tab.32, unbewehrte Betonwände dort geregelt

- Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45
- Minimale Betonfestigkeitsklasse C12/15
- Schlankheit max. $\lambda=85$
- Mindestdicke $d=10$ cm für Fertigteile, $d=12$ cm in Ortbeton
- Nachweis der Duktilität über max. Ausmitten $e/h \leq 0,4$
- Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit über zulässige Last
- Nachweis der Stabilität (Knicknachweis)
- Nachweis der Querkraftbeanspruchung

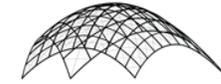
In DIN 1045-1 wurde eine genauere Abbildung der Traglastkurve erreicht.

Ein Vergleich der beiden Normen zeigt, dass die Bemessung von Druckgliedern aus unbewehrtem Beton nach DIN 1045-1 bei größerer Schlankheit und ebenfalls größeren Ausmitten höhere Traglasten erzielt als die DIN 1045 (07.88).

➤ DIN 1992-1-1: 2011-01, Abschnitt 12 und DIN 1992-1-1: NA, 2013

- Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45
- Minimale Betonfestigkeitsklasse C12/15
- Schlankheit max. $\lambda=86$
- Mindestdicke $d=10$ cm für Fertigteile, $d=12$ cm in Ortbeton
- Nachweis der Duktilität über max. Ausmitten $e/h \leq 0,4$
- Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit über zulässige Last
- Nachweis der Stabilität (Knicknachweis)
- Nachweis der Querkraftbeanspruchung

➤ DIN 1992-1-1: ca. 2026, Ausblick, keine Änderungen zu Ausgabe 2011 erwartet



- Grundsätzlich bieten sich bewehrungsfreie Bauteile bei fast überall an.
- Im Hallenbau kann der Betonstahl eher in tragenden Bodenplatten (Industriehallen) eingespart werden, im Wohnungs- und Gewerbebau vielmehr im Wand, -Stützen- und Gründungsbereich.
- Alle Autobahnbodenplatten bestehen zu 100% aus unbewehrten Bodenplatten mit Scheinfugen.

- **Kelleraußenwand** aus unbewehrtem Beton
(Mindestauflast erforderlich, bzw. Reduktion des Erddruckes z.B. durch leichte Anschüttung)

- **Windbelastete Außenwand** aus unbewehrtem Beton

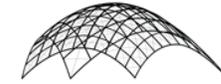
- **Innenwand** aus unbewehrtem Beton

- **Aussteifende Innen- und Außenwand** aus unbewehrtem Beton
(Zugkeildeckung erforderlich)

- Ausführung unbewehrter **Betonwände-** und **Stützen** in Leicht- oder Normalbeton

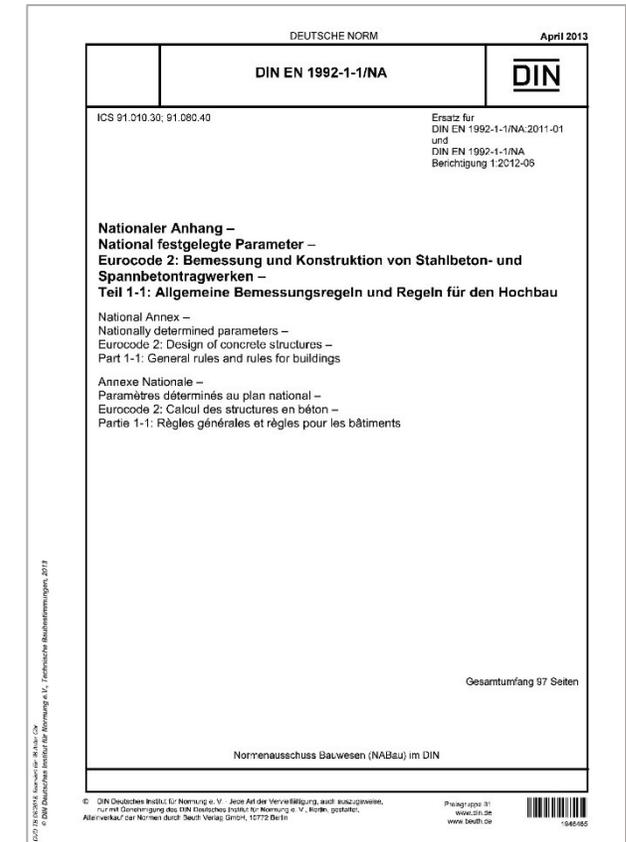
11. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12



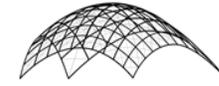
Mendler
Ingenieur Consult

- Die DIN EN 1992-1-1 behandelt im Kapitel 12 Bauteile aus unbewehrtem Beton.
- Überwiegend auf **Druck beanspruchte tragende Wände** oder Stützen als unbewehrte Bauteile
- Wände müssen **übereinanderstehen**, nicht versetzt oder auskragend angeordnet
- Große Deckendrehwinkel**
bzw. große Deckenspannweiten vermeiden (vgl. Büscher Wand $l = \max. 8,50 \text{ m}$), da die Ausmitte aus exzentrischer Auflagerung am Stützenkopf maximal auf $d/3$ bzw. $d/6$ begrenzt und analog im Mauerwerksbau nach EC6 eine Dreiecksverteilung am Auflager anzusetzen ist.
- Randeinspannmomente** werden nach Heft 631 berechnet.
- Die Betonwichte wird mit $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ berechnet.
- Es werden die **Nachweise der Tragfähigkeit, der Stabilität und der Querkraft** geführt, die man mit der Hand führen kann, ohne aufwendige Statik Programme



11. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12

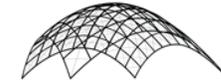


Mender
Ingenieur Consult

- Wände oder Stützen, die **weniger als die Mindestbewehrung** aufweisen werden auch als unbewehrte Bauteile beschrieben.
- Unbewehrte **wandartige Träger** zur Abfangung von darüberliegenden Geschossen sind nicht möglich, da der Beton nicht auf Zug beansprucht werden darf.
- In unbewehrten Betonbauteilen darf jedoch auch Betonstahlbewehrung zur Erfüllung der Anforderungen an die **Gebrauchstauglichkeit** und/oder die Dauerhaftigkeit bzw. in bestimmten Bereichen der Bauteile angeordnet werden. Diese Bewehrung darf für örtliche Nachweise im GZT und für Nachweise im GZG berücksichtigt werden.
- Eine unbewehrte Beton- und Leichtbetonwand **gleichet einer klassischen Mauerwerkswand**, bei der keine Einspannwinkel in die Decke erforderlich werden.
- Nicht in **Erdbebenzonen** und für dynamische Lasten zugelassen!
- **Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45**, minimale Betonfestigkeitsklasse C12/15.
- **Maximale Betonfestigkeitsklasse LC20/22**.
- **Keine erhöhten Betongüten** gegenüber bewehrter Stb.-Wand.

11. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12



Mender
Ingenieur Consult

➤ Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit

$$n_{Ed} \leq n_{Rd}$$

mit $n_{Rd} = \eta \cdot f_{cd,pl} \cdot h$ (zentrisch) bzw. $n_{Rd} = \eta \cdot f_{cd,pl} \cdot h \cdot (1 - 2 \cdot e/h)$ (exzentrisch)

➤ Nachweis der Stabilität (Knicknachweis)

$$n_{Ed} \leq n_{Rd}$$

mit $n_{Rd} = f_{cd,pl} \cdot h \cdot \Phi$

Bei $l_0/h \leq 2,5$ ist ein Stabilitätsnachweis zu führen.

➤ Nachweis der Querkraft

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd}$$

mit $\sigma_{cp} = N_{Rd} / A_{cc}$

mit $\tau_{cp} = 1,5 \cdot V_{ed} / A_{cc}$

mit $f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + (\sigma_{cp} \cdot f_{ctd,pl})}$ bzw. $f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + (\sigma_{cp} \cdot f_{ctd,pl}) - (\sigma_{cp}/2 - \sigma_{c,lim}/2)}$

➤ Nachweis der Duktilität über maximale Ausmitten

$$e_d/h < 0,4$$

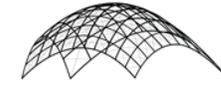
Berechnung Randeinspannmomente gemäß EC2 oder Heft 631.

➤ Nachweis der Grenzschlankheit

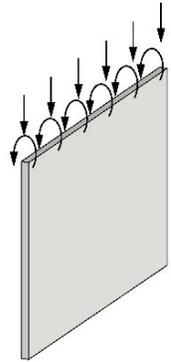
$$\lambda \leq 86$$

11. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

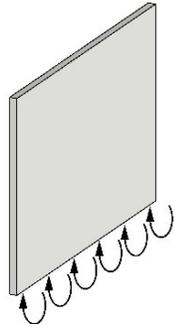
NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12



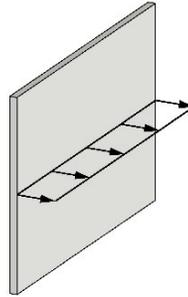
Mender
Ingenieur Consult



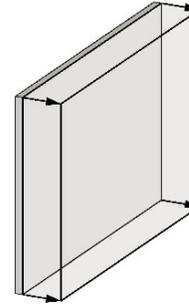
a) Belastungen am Kopf



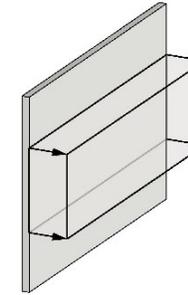
b) Belastungen am Fuß



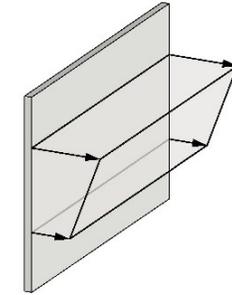
c) Streckenlast horizontal
auf die Wand



d) Gleichflächenlast horizontal
auf die Wand



e) Blockflächenlast horizontal
auf die Wand



f) Trapezflächenlast horizontal
auf die Wand

12. Mindestwandstärken

- **Keine größeren Wandstärken** gegenüber bewehrter Stb.-Wand.
- Für unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände dürfen **dieselben Mindestdicken** aus brandschutztechnischer Sicht wie für bewehrte Betonwände geplant werden.
- Für unbewehrte **Brandwände** ist eine Mindestdicke von 20 cm festgelegt.
- **Wohnflächeneinsparung** bei reduzierter Wandstärke!

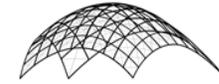
Tabelle NA.12.2 — Mindestwanddicken für tragende unbewehrte Wände

	Wandkonstruktion		1	2
			mit Decken	
			nicht durchlaufend	durchlaufend
1	C12/15	Ortbeton	200 mm	140 mm
2	≥ C16/20	Ortbeton	140 mm	120 mm
3		Fertigteil	120 mm	100 mm

Mindestwanddicken (Auszug aus DIN DIN 1992-1-1, Tabelle NA.12.2)

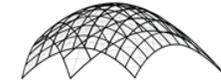
13. Gebrauchstauglichkeit

- Der EC2 gibt Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit (GZG)
- a) im Hinblick auf eine Rissbildung:
 - **Begrenzung der Betonzugspannungen** auf zulässige Werte
 - Einlegen einer **konstruktiven Zusatzbewehrung** (Oberflächenbewehrung, erforderlichenfalls Ring- und Zuganker)
 - **Anordnung von Fugen** (in Außenwänden z.B. Sollbruchfugen $e = \max. 2xh$)
 - Betontechnologische Maßnahmen (z.B. geeignete Betonzusammensetzung, Nachbehandlung)
- b) im Hinblick auf die Verformung
 - Festlegung einer minimalen Querschnittsgröße
 - Begrenzung der Schlankheit bei Druckgliedern.



- **Schlitze und Aussparungen** sind in der Regel nur zulässig, wenn eine ausreichende Festigkeit und Stabilität nachgewiesen werden kann.
- Es werden nur Aussparungen (Türen, Fenster, WD etc.) **rahmenartig eingesäumt und bewehrt**.
- Bei **aussteifenden Wänden** werden nur die Wandenden mit einer Zugkeilbewehrung versehen.
- **Keine Eckverbindung** der Wände erforderlich (Saumbügelstoß).
- **Kein Einspannwinkel** in die Decke erforderlich.
- Für die **Halterung im Bauzustand** nach dem Ausschalen ist aus dem Restecontainer eine Matte mittig in die Decke einzubauen (gegen Umfallen bei Windlast gesichert).

15. Schall- und Brandschutz



- **Keine Nachteile** gegenüber bewehrter Stb.-Wand!
- **Erhöhter Schallschutz** für unbewehrte Wohnungstrennwände nach DIN 4109 mindestens 22 cm Betonwandstärke (analog bewehrter Stb.-Wand).
- Bei unbewehrten Betonwänden **entfällt der Nachweis des Achsabstandes** im Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile.
Hier sind nur Mindestwanddicken, abhängig vom Ausnutzungsgrad gemäß Tabelle 5.4, einzuhalten.
- Für **Brandwände** ist die Mindestdicke von 20 cm für unbewehrte Betonwände festgelegt.
- Für unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände dürfen **dieselben Mindestdicken** aus brandschutztechnischer Sicht wie für bewehrte Betonwände geplant werden.

Tabelle 5.4 — Mindestdicke und -achsabstände für tragende Betonwände

Feuerwiderstands-kategorie	Mindestmaße (mm)			
	Wanddicke/Achsabstand für			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Brandbeanspruchung auf einer Seite	Brandbeanspruchung auf zwei Seiten	Brandbeanspruchung auf einer Seite	Brandbeanspruchung auf zwei Seiten
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Normalerweise reicht die nach EN 1992-1-1 erforderliche Betondeckung.
ANMERKUNG Für die Definition von μ_{fi} siehe 5.3.2 (3).

5.4.3 Brandwände

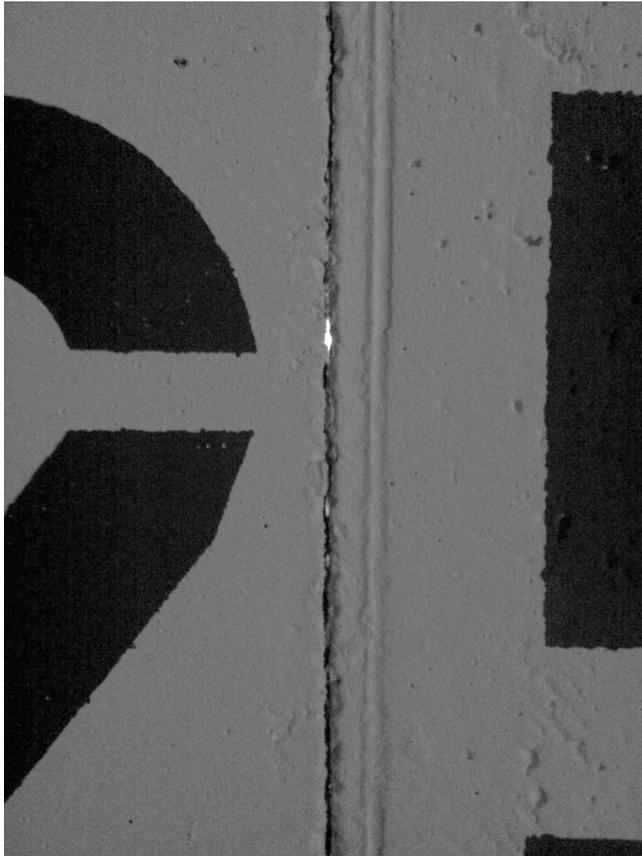
(1) Sofern eine Brandwand zusätzlich zu 5.4.1 und 5.4.2 die Anforderung an mechanische Widerstandsfähigkeit gegen horizontale Stoßbeanspruchung (Kriterium M, siehe 2.1.2 (6)) erfüllen muss, darf die Mindestdicke bei Ausführung in Normalbeton nicht kleiner sein als:

- 200 mm für eine unbewehrte Wand,
- 140 mm für eine bewehrte, tragende Wand,
- 120 mm für eine bewehrte, nichttragende Wand,

und der Achsabstand einer tragenden Wand darf nicht kleiner als 25 mm sein.

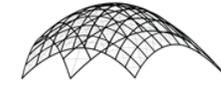
Mindestwanddicken (Auszug aus DIN DIN 1992-1-2, Tabelle 5.4)

16. Risseverhalten von Beton- und Leichtbetonwänden



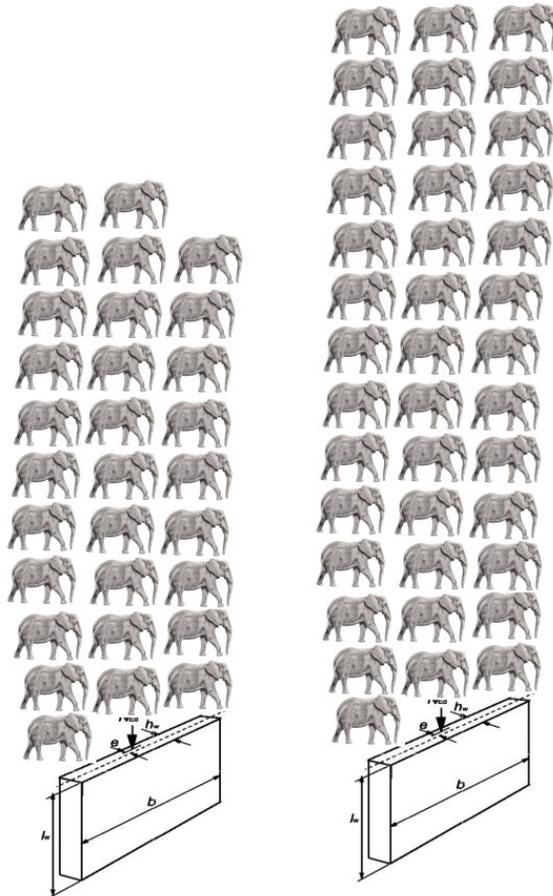
- Risse in unbewehrten Beton- und Leichtbetonwänden treten **nicht häufiger** als in bewehrten Wänden auf (statistische Erfahrungswerte).
- Abgestimmten Betonrezeptur, niedrigerer Hydratationswärmeentwicklung, schwindarmen Betonen ist zu begrüßen.
- **Nachbehandlungskonzept** in Abstimmung mit Baufirma.
- Sollbruchfugen Abstand $e=2xh$.
- Betonier- oder Schwindgassen .
- **Keine Anforderung an Rissbreiten**, da kein Stahl vorhanden, der geschützt werden muss (Wände dürfen aufreißen).
- Systemimmanente Bauweise, völlig ungerissenen Beton gibt es weltweit nicht.
- Ziel ist nur die **Minimierung der Risse**, nicht das Ausschließen der Risse.
- **Keine Anforderungen an Dauerhaftigkeit**, speziell in Tiefgaragen (Beschichtungssystem + Wartung + spätere Sanierungen entfallen).

16. Risseverhalten von Beton- und Leichtbetonwänden



- Unbewehrte Wände bleiben **rissfrei**, wenn die Bruchdehnung des Betons mit einem Sicherheitsabstand unterschritten bleibt oder wenn die Zugfestigkeit nicht überschritten wird.
- Die Zugbruchdehnung bei normalfesten Betonen beträgt **etwa 0,1‰**, was einer Abkühlung des Bauteils um 10 K entspricht.
- Dann entsteht der erste Riss, wenn das Bauteil an der Dehnung behindert wird.
- Dabei ist zu beachten, dass der größte **Schwindanteil** in den ersten vier Jahren nach Rohbaufertigstellung abgeklungen ist.
- **Fugenplanung** sollten vom Tragwerksplaner zu Beginn der Planung angestrebt werden.
- Mehr Sicherheit im Tragwerk und **Entlastung der Hausverwaltungen** und Eigentümer, auch hinsichtlich der entfallenen Sanierungskosten für Beschichtungen, die auf 50 Jahre hochgerechnet nicht unerheblich sind.
- Als **Vorschlag** kann unterbreitet werden, dass die eingesparte Menge an Betonstahl zu einer Summe x im Leistungsvolumen durch Kosmetik wieder zu schließen ist (zivilrechtliche Belange). Damit kann die Risseschließung durch einen kleinen Bruchteil der Einsparungen wieder kompensiert werden. Es verbleibt ein **großes monetäres Einsparungspotenzial**.

17. Beispiele zur Tragfähigkeit



Vergleich der Tragfähigkeit zwischen einer bewehrten und unbewehrten Betoninnenwand

$d=25\text{ cm}$, $h=2,60\text{ m}$, C25/30

Bewehrte Betoninnenwand

zul. $N_k = \text{ca. } 2400\text{ kN/m}$ (Q257 beidseits)

40 Elefanten pro m (zulässige Auflast bewehrte Wand)

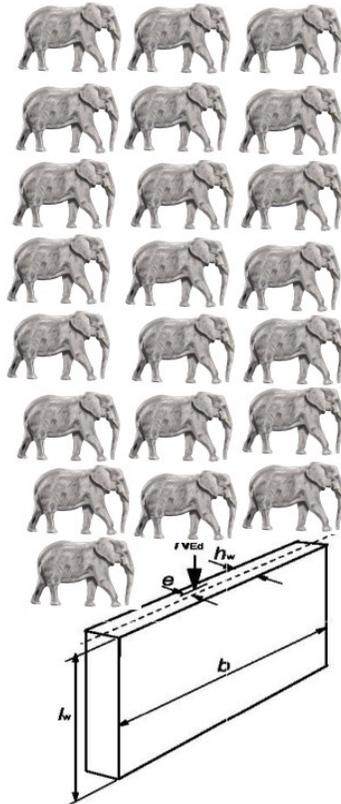
Unbewehrte Betoninnenwand

zul. $N_k = \text{ca. } 1800\text{ kN/m}$

30 Elefanten pro m (zulässige Auflast unbewehrte Wand)

- 30 Elefanten/m entspricht ca. der Auflast von 20 Vollgeschossen
- hohe Bauteilauslastung
- hohe Lasten kommen im klassischen Hochbau selten vor

17. Beispiele zur Tragfähigkeit



Nachweis der Tragfähigkeit einer klassischen unbewehrten Tiefgaragenstütze

$b/d=25/50$ cm, $h=2,5$ m, C35/45, 60 cm Auflast durch Überschüttung
 $q=5,0$ kN/m², Anpralllast PKW 40/25 kN

Stellplatzbreiten $3 \times 2,5=7,5$ m, 6,0 m Fahrgassenbreite, Stellplatztiefe von 5,0 m

vorh. $F_k=1.110$ kN

19 Elefanten (vorhandene Auflast)

zul. $F_k = 1.305$ kN

22 Elefanten (zulässige Auflast unbewehrte Stütze)

- Ausnutzung im Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt 80 %
- Die meisten TG-Stützen sind unbewehrt ausführbar

17. Beispiele zur Tragfähigkeit

Zulässige charakteristische Auflast für verschiedene Wandtypen

- Wandstärken $d=20/25$ cm, Wandhöhe $h=2,60$ m, C25/30, C35/45, LC20/22
- Brandschutz R90 berücksichtigt
- Stb.-Wand ohne Mindestbewehrung, nur statische Bewehrung bis Q335

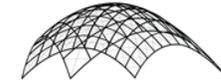


	C25/30	C35/45	LC20/22
unb. Beton-Innenwand $d=20$ cm	1.300 kN/m (15VG)	1.900 kN/m (23VG)	1.000 kN/m (13VG)
Stb.-Innenwand $d=20$ cm	1.900 kN/m (23VG)	2.600 kN/m (30VG)	1.300 kN/m (15VG)
unb. Beton-Innenwand $d=25$ cm	1.800 kN/m (20VG)	2.500 kN/m (28VG)	1.400 kN/m (17VG)
Stb.-Innenwand $d=25$ cm	2.400 kN/m	3.300 kN/m (38 VG)	1.700 kN/m (20VG)
unb. Beton-Außenwand $d=20$ cm, $d/3$	500 kN/m (9VG)	700 kN/m (12VG)	400 kN/m (7VG)
Stb.-Außenwand $d=20$ cm, $d/3$	800 kN/m	1.100 kN/m	500 kN/m
unb. Beton-Außenwand $d=25$ cm, $d/3$	700 kN/m (12VG)	900 kN/m (14VG)	500 kN/m (9VG)
Stb.-Außenwand $d=25$ cm, $d/3$	1.000 kN/m (15VG)	1.300 kN/m (18VG)	700 kN/m (12VG)

→ Leichtbetonwände weisen mind. 7 Vollgeschosse Tragkraft auf

18. Beispiele zum CO₂- und Kostenvergleich verschiedener Wandtypen

BEISPIELRECHNUNG



Mendler
Ingenieur Consult

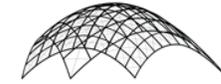


- Es wird eine unbewehrte Betoninnen- und Außenwand mit einer Innen- und Außenwand aus Mauerwerk verglichen (Preise gemäß BKI 2023 brutto, ohne Regionalfaktor).
- Unbewehrte Betonwände sind den Mauerwerkswänden überlegen

	Kosten, brutto	Co ₂ -Bilanz	Bewertung
unbewehrte Beton-Innenwand d=24 cm	110 Euro/m ²	38 kg Co ₂ /m ²	ca. 9% günstiger als MW IW d=24 cm emittiert ca.21% mehr Co2 als MW IW 24
unbewehrte Beton-Außenwand d=18 cm (inkl. WDVS 12 cm)	150 Euro/m ²	36 kg Co ₂ /m ²	ca. 27% günstiger als MW AW d=36,5 cm emittiert ca.55% weniger Co2 als MW AW 36,5
bewehrte Stb.-Innenwand d=24 cm	160 Euro/m ²	52 kg Co ₂ /m ²	ca. 33% teurer als MW IW d=24 cm emittiert ca.73% mehr Co2 als MW IW 24
bewehrte Stb.-Außenwand d=18 cm (inkl. WDVS 12 cm)	190 Euro/m ²	47 kg Co ₂ /m ²	kostenneutral zu MW AW d=36,5 cm emittiert ca.19% weniger Co2 als MW AW 36,5
Mauerwerk-Innenwand d=24 cm	120 Euro/m ²	30 kg Co ₂ /m ²	ca. 33% günstiger als Stb IW d=24 cm ca. 9% teurer als B IW d=24 cm emittiert ca.73% weniger Co ₂ als Stb IW 24 emittiert ca.21% weniger Co2 als B IW 24
Mauerwerk-Außenwand d=36,5 cm (Wärmedämmziegel mit Perlitefüllung)	190 Euro/m ²	56 kg Co ₂ /m ²	ca. 27% teurer als B AW d=18 cm emittiert ca.55% mehr Co2 als B AW 18 emittiert ca.19% mehr Co2 als Stb AW 18

19. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung

BEISPIELRECHNUNG EINER UNBEWEHRTEN INNENWAND



Mender
Ingenieur Consult

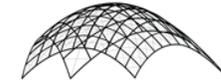
b=25 cm, h=2,6 m, Wandlänge l=1,0 m

Stahlpreis: 1.800 €/to
Stahlmenge: 120 kg/m³ Betonstahl
Co₂-Emission: 683 kg Co₂/ to Betonstahl
Arbeitszeit: ca. 15h/to

Stahlersparnis ca.: **78** kg/m
Kostensparnis ca.: **140** €/m
CO₂-Einsparung ca.: **52** kg/m
Zeitersparnis ca.: **0,45** h/m²

19. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung

BEISPIELRECHNUNG EINER WOHNANLAGE MIT 500 WOHNHEITEN



Mender
Ingenieur Consult

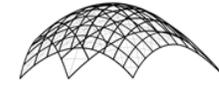
b=22 cm, h=2,6 m, ca. 125 m² Betonwandfläche je Wohneinheit, 500 WE

Stahlpreis: 1.800 €/to
Stahlmenge: 120 kg/m³ Betonstahl
Co₂-Emission: 683 kg Co₂/ to Betonstahl
Arbeitszeit: ca. 15h/to

Stahlersparnis ca.: **1.650** to
Kostensparnis ca.: **3 Mio** € (35% = ca. 1 Mio €)
CO₂-Einsparung ca.: **1.100** to pro 500 WE (35% = 385 to)
Zeitersparnis ca.: **24.750** h (35% = 8.660h)

19. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung

BEISPIELRECHNUNG EINER BEWEHRTEN AUßENWAND



Mender
Ingenieur Consult

- Eine bewehrte Außenwand $d=20$ cm muss aufgrund der geforderten Mindestbewehrung nach EC2, 9.6 mit $3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$ (Q335 beidseits) bewehrt werden (Mattengewicht $5,38 \text{ kg}/\text{m}^2$).
- Ist eine bewehrte Wand gewünscht (Angsthasenbewehrung), könnte man diese unbewehrt nachweisen und eine konstruktive Bewehrung Q188 einbauen (Mattengewicht $3,02 \text{ kg}/\text{m}^2$).

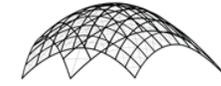
Kostenersparnis ca.: **44%** der Bewehrung

20. Bewehrungs- und CO₂- Gehalte in Stahlbetonwänden- und Stützen

- Hier sind CO₂-Einsparungen zwischen 24 bis 40 % bei einer unbewehrten Betonwandausführung möglich.
- Bei Stützen liegt zwar das CO₂-Einsparpotential höher, fällt aber aufgrund des gering verbauten Betonvolumens hier nicht ins Gewicht.

Bauteil	Bewehrungsgehalt	CO ₂ -Einsparung Bewehrung	CO ₂ -Anteil Bewehrung	Summe CO ₂ - Äq. (Beton+Bewehrung)
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 85-110 kg/m ³ Beton	ca. 58-75 kg CO ₂ /m ³ Beton	24% - 29%	241-258 CO ₂ /m ³ Beton
Stahlbetonaußenwand in WU	ca. 140-175 kg/m ³ Beton	ca. 96-120 kg CO ₂ /m ³ Beton	34% - 40%	279-303 CO ₂ /m ³ Beton
Stahlbetoninnenwand in TG	ca. 110-125 kg/m ³ Beton	ca. 75-85 kg CO ₂ /m ³ Beton	29% - 32%	258-268 CO ₂ /m ³ Beton
Wandartiger Träger	ca. 120-160 kg/m ³ Beton	ca. 82-110 kg CO ₂ /m ³ Beton	31% - 38%	265-293 CO ₂ /m ³ Beton
<u>Stahlbetonstützen</u>	ca. 300-400 kg/m ³ Beton	ca. 205-273 kg CO ₂ /m ³ Beton	53% - 60%	388-456 CO ₂ /m ³ Beton

(Globales Erwärmungspotenzial (GWP) aus ÖKOBAUDAT in kg CO₂-Äq.: Beton C20/25 mit 183 kg CO₂/m³ (A1-A5), Betonstahl mit 683 kg CO₂/to, (A1-A3))



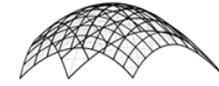
- Da die Einsparung abhängig ist von der Bauweise (MW/Beton bzw. Beton/Beton), der Anzahl der Wohneinheiten, Art der Gebäude (MFH, Wohnanlage, Hochhaus) etc., lässt sich am besten eine bauteilbezogene Einsparung darstellen.
- Schnellerer Bauablauf.
- Personal- und Materialkosteneinsparung.

Bauteil	Arbeitszeiteinsparung	Kosteneinsparung Arbeitszeit	Kosteneinsparung Bewehrung	Kosteneinsparung Bewehrung+Arbeitszeit
Stahlbetoninnen-und Außenwand	ca. 1,28-1,65 h/m ³ Beton	ca. 22-28 Euro/m ³ Beton	ca. 153-198 Euro/ m ³ Beton	ca. 175-226 Euro/ m ³ Beton
Stahlbetonaußenwand in WU	ca. 2,1-2,63 h/m ³ Beton	ca. 36-45 Euro/m ³ Beton	ca. 252-315 Euro/ m ³ Beton	ca. 288-360 Euro/ m ³ Beton
Stahlbetoninnenwand in TG	ca. 1,65-1,88 h/m ³ Beton	ca. 28-32 Euro/m ³ Beton	ca. 198-225 Euro/ m ³ Beton	ca. 226-257 Euro/ m ³ Beton
Wandartiger Träger	ca. 1,8-2,4 h/m ³ Beton	ca. 31-41 Euro/m ³ Beton	ca. 216-288 Euro/ m ³ Beton	ca. 247-329 Euro/ m ³ Beton
Stahlbetonstützen	ca. 4,5-6,0 h/m ³ Beton	ca. 77-102 Euro/m ³ Beton	ca. 540-720 Euro/ m ³ Beton	ca. 617-822 Euro/ m ³ Beton

(Stahlpreis aktuell ca. 1.800 Euro/ to mit Einbau, Arbeitsaufwand Eisenflechten ca. 15h/ to, Stundenlohn Eisenflechter ca. 17 Euro/h)

22. Vorhandene Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau für Stb.-Innen- und Außenwände

REINER BETONBAU



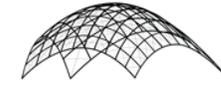
Mender
Ingenieur Consult

Bauteil	Betonwandfläche/ Wohneinheit	Betonwandfläche/ Wohnfläche	Betonwandfläche/ m ³ BRI
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 100-150 m ² /WE	ca. 1,30-2,2 m ² / m ² WF	ca. 0,20-0,40 m ² / m ³

(Quelle: Mender Ingenieur Consult)

22. Vorhandene Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau für Stb.-Innen- und Außenwände

BEI MAUERWERK + BETON



Mender
Ingenieur Consult

Bauteil	Betonwandfläche/ Wohneinheit	Betonwandfläche/ Wohnfläche	Betonwandfläche/ m ³ BRI
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 40-120 m ² /WE	ca. 0,7-1,5 m ² / m ² WF	ca. 0,10-0,40 m ² / m ³

(Quelle: Mender Ingenieur Consult)

23. Ausführungsbeispiele

Alle Innenwände vom UG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände ausgeführt.



Wohnanlage **Wörthsee**

23. Ausführungsbeispiele

Nahezu alle Innen- und Aussenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betonwände geplant.



Seniorenwohnheim **Altenmarkt**

23. Ausführungsbeispiele

Hoher Anteil der Innenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände geplant.



Wohnquartier **Worms**

23. Ausführungsbeispiele

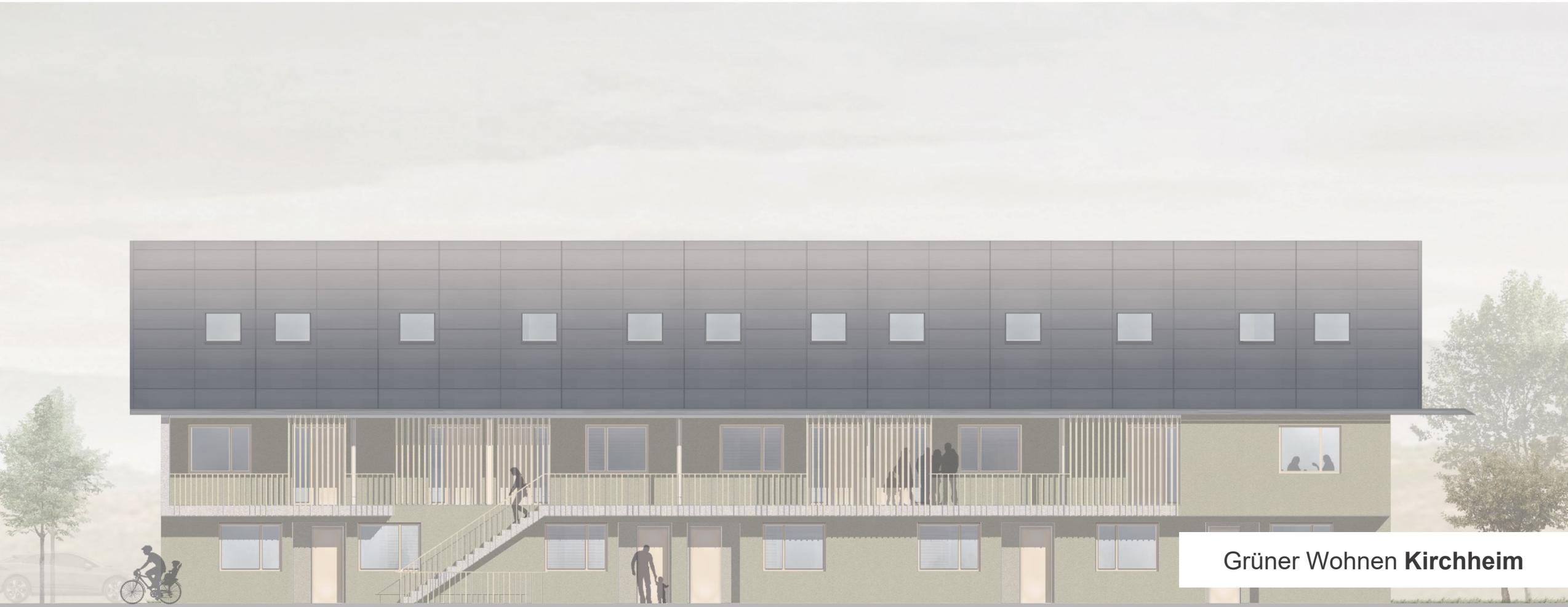
Aussenwände teils als unbewehrte Betonwände geplant.



Bürogebäude Beckum

23. Ausführungsbeispiele

Alle Wände im Keller als unbewehrte Betonwände geplant.



Grüner Wohnen **Kirchheim**

23. Ausführungsbeispiele

Hoher Anteil der Innenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände geplant.



Wohnanlage **München**

23. Ausführungsbeispiele

Alle Außen- und Innenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände ausgeführt.



Wohnanlage
Bogenhauser Höfe München

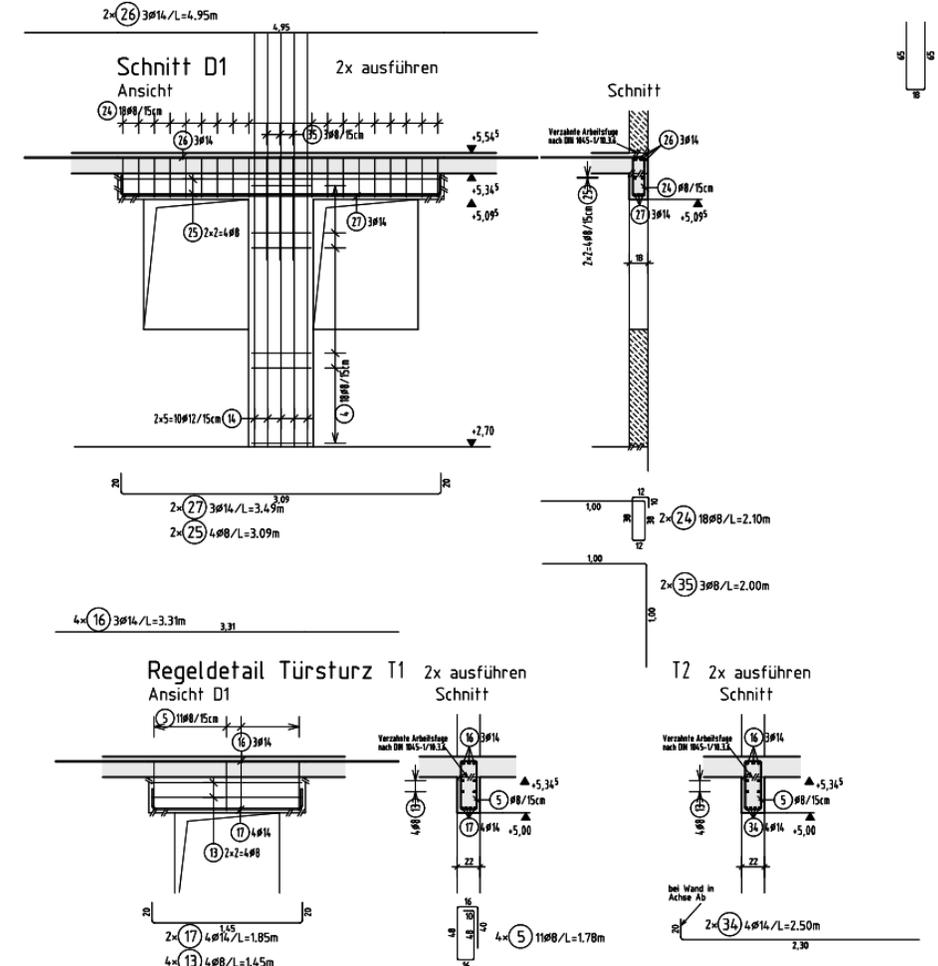
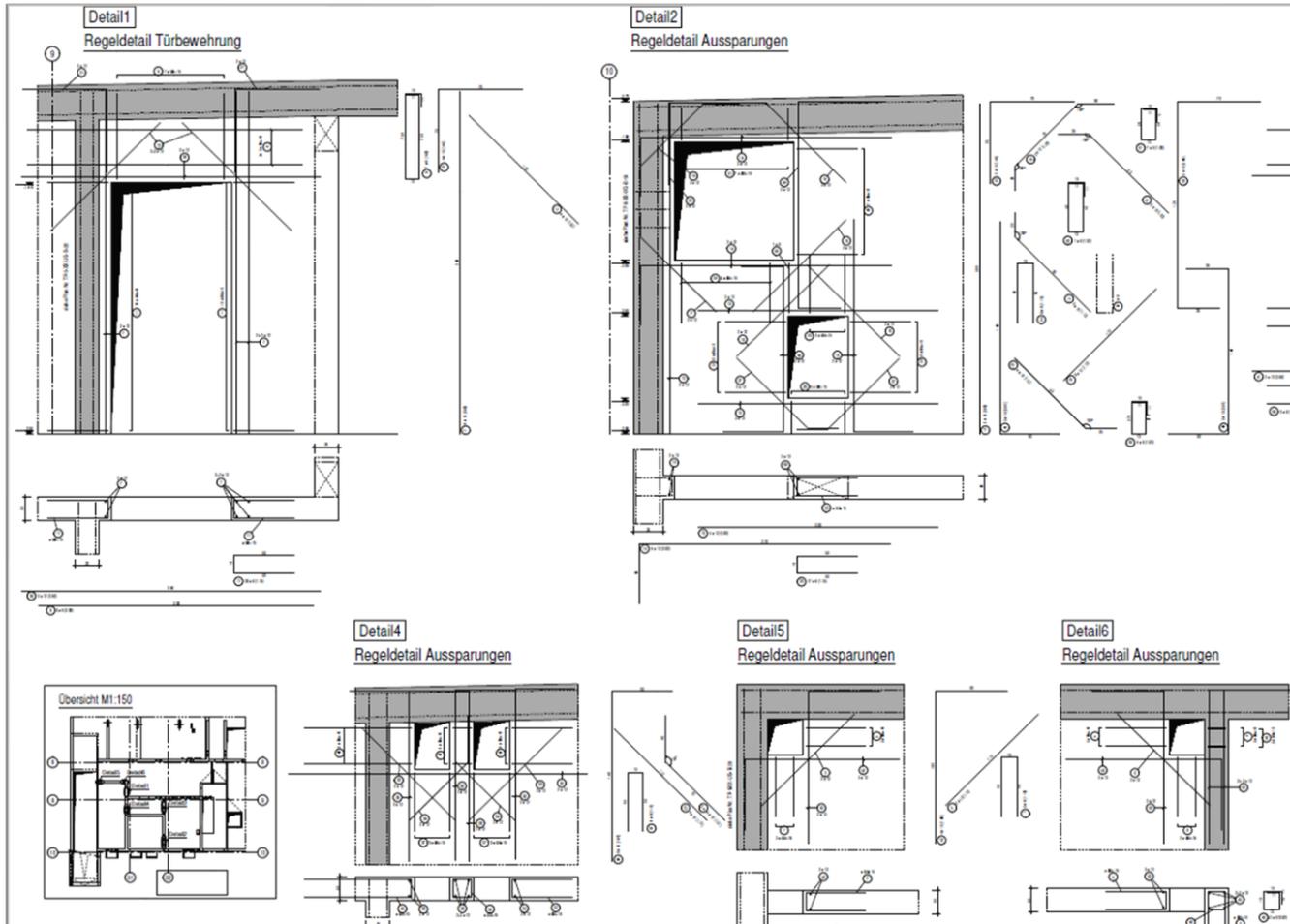
23. Ausführungsbeispiele

Das linke Gebäude mit unbewehrten Wänden ausgeführt.



E-Häuser Bad Aibling

24. Bewehrung Türrahmen & Aussparungen



25. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände



- ✓ Einsparung von ca. **30% CO₂/m³ Beton** (ca. 80 kg CO₂/m³ Beton)
- ✓ Ressourcenschonung durch **Stahleinsparung**
- ✓ **kein Beschichtungssystem** mit jährlicher Wartung erforderlich (Einsparung von ca. 30 kg CO₂/m² Beschichtungssystem)
- ✓ Enorme **Kosteneinsparung** beim Betonstahl **von ca. 140 Euro/ lfdm. und Bauzeiteinsparung** durch schnelleren Bauablauf
- ✓ **Keine höheren Wandstärken** oder Betonfestigkeiten wie bewehrte Betonwände
- ✓ Keine Nachteile **Brandschutz und Schallschutz**
- ✓ Unabhängigkeit von ausländischen Lieferketten

25. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände



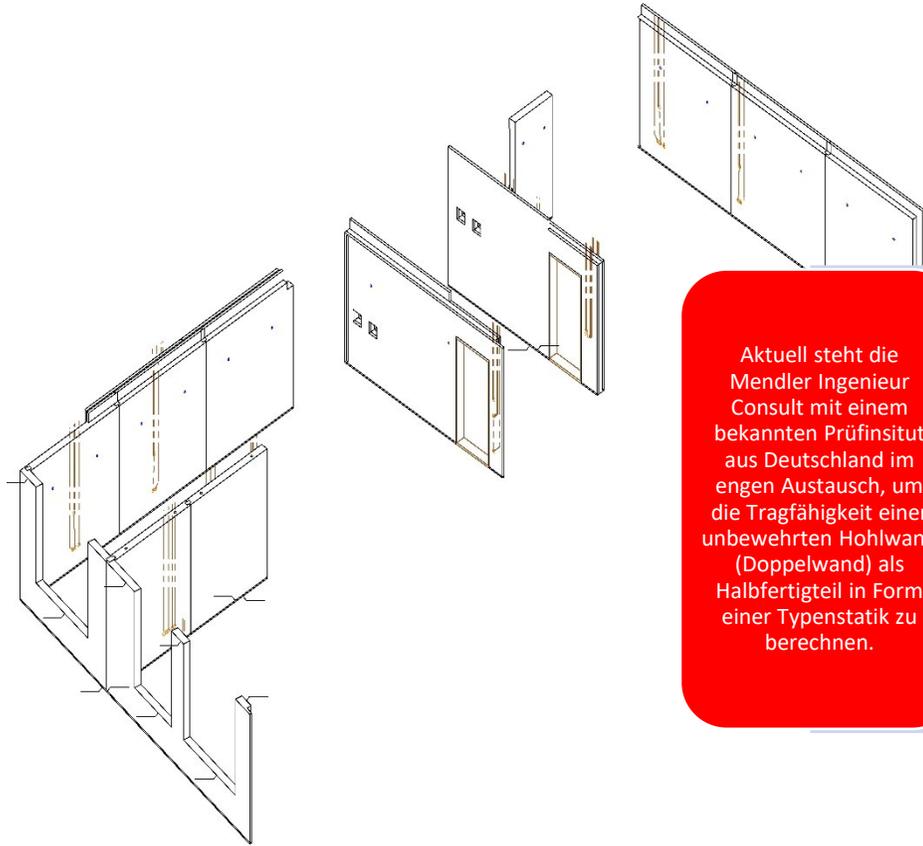
- ✓ Unbewehrte Betonwände lassen sich sehr gut mit CO₂-reduzierten oder **rezyklierten Betonen** kombinieren, um ein enormes CO₂ Einsparungspotential zu generieren
- ✓ **Geregelte Bauweise** in der Norm Eurocode 2 als **Leicht- oder Normalbeton** und darf in ganz Europa für tragende Betonwände- und Stützen angewendet werden (keine Zustimmung im Einzelfall erforderlich)
- ✓ Was gemauert werden kann, kann erst recht betoniert werden
- ✓ **optimaler Energiespeicher** über massige Fläche (vgl. Thermodecken)

25. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände



- ✓ Bis zu. 9x **höhere Tragfähigkeiten** wie eine Mauerwerkswand, ähnliche Tragfähigkeit wie bewehrte Betonwand
- ✓ Besitzt sehr **hohe Tragfähigkeiten** ähnlich einer bewerten Betonwand, die im Wohnungsbau gar nicht erforderlich sind
- ✓ Verdichten des Betons wird durch den Entfall der Bewehrung erheblich erleichtert und das Oberflächenergebnis der Wandbauteile tendenziell verbessert
- ✓ **Langzeiterfahrung** unbewehrter Betonbauweisen
- ✓ Entspricht den **allgemein anerkannten Regeln der Technik**

26. Ausblick: unbewehrte Hohlwände



Aktuell steht die Mendler Ingenieur Consult mit einem bekannten Prüfinstitut aus Deutschland im engen Austausch, um die Tragfähigkeit einer unbewehrten Hohlwand (Doppelwand) als Halbfertigteil in Form einer Typenstatik zu berechnen.

Dabei wird die Tragfähigkeit der unbewehrten Halbfertigteilwand über die zwei unbewehrten FT-Schalen und den Ortbetonkern über den gemeinsamen Verbund der Gitterträger hergestellt und Betonier- und Hebe- bzw. Bauzustände berechnet.

In Analogie zu dem ersten 3D-gedruckten Gebäude in Deutschland, das 2021 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, sind die beiden äußeren Schalen unbewehrt in additiver Fertigungstechnik gedruckt und mit U-förmigen Mauerankern aus Edelstahl verbunden worden. Die Forschung unter Prof. Gehlen und Herrn Dr. Weger von der TUM haben gezeigt, dass es sehr wohl möglich ist, unbewehrte Hohlwände herzustellen.

Wir erwarten Ende des Jahres 2024 validierte Ergebnisse.

Allein in Deutschland werden jedes Jahr mehrere Mio. m² an Hohlwände verbaut und dabei über

30 Mio. kg an CO₂ emittiert. Das Potential für den Einsatz der unbewehrten Hohlwände im Sinne der Nachhaltigkeit ist enorm.

„unbewehrte Beton- und
Leichtbetonwände macht Sie zu
Gewinner in der Klima- und
Wirtschaftskrise und hat sich seit
70 Jahren **bewährt**“



Mendler Ingenieur Consult

Lindenstraße 1b
86949 Windach

Tel.: + 49 (0) 81 93 – 36 39 110

Mobil: + 49 (0) 1 77 – 327 100 1

E-mail: a.mendler@mendler-consult.de

Web: www.mendler-consult.de



Nachhaltigkeitsberatung

unbewehrte Betonbauweisen, tragender Lehm- und Mauerwerksbau, Bauteiloptimierung, Kosteneinsparung



Folgen Sie uns, wenn Sie nichts mehr verpassen wollen